大腿中央前面筋厚・脂肪厚，大腿周径，大腿前面筋硬度測定の 再現性および膝伸展筋力との関連

Associations among the reproducibility of anterior central femoral muscle/fat thickness, femoral circumference, and anterior femoral muscle hardness measurement and knee extension muscle strength

小林 佐季¹⁾，帙若あかり¹⁾，野中 紘士¹⁾，安彦 鉄平¹⁾
白岩加代子¹⁾，堀江 淳¹⁾，村田 伸¹⁾

Saki Kobayashi¹⁾，Akari Torawaka¹⁾，Koji Nonaka¹⁾，Teppe Abiko¹⁾
Kayoko Shiraiwa¹⁾，Jun Horie¹⁾，Shin Murata¹⁾

要旨：本研究は，大腿中央前面筋厚（以下，筋厚）・脂肪厚（以下，脂肪厚），大腿周径，大腿前面筋硬度（以下，筋硬度）測定の検者内・検者間再現性と膝伸展筋力との関連を検討した。対象は，健康成人20名（平均年齢：男性20.1±0.3歳，女性20.2±0.4歳）の両下肢計40脚であり，筋厚，大腿周径，筋硬度を各2回ずつ測定し級内相関係数を求め，検者内・検者間での再現性を検討した。また，膝伸展筋力と各項目との相関をPearsonの積率相関係数を求めて検討した。その結果，筋厚，脂肪厚，大腿周径の再現性は，男女ともに級内相関係数が0.9以上と極めて高かったが，筋硬度は検者間で男性が0.763，女性が0.787と低い値を示した。筋力との相関では，男性の大腿周径のみに有意な相関（ $r=0.54$ ， $p<0.05$ ）が認められた。これらの結果から，筋硬度の測定は測定値の再現性に留意すること，また男性の大腿周径は膝伸展筋力を反映するが，女性の大腿周径の測定値は脂肪厚の影響を考慮する必要性が示唆された。

キーワード：筋厚，大腿周径，筋硬度，再現性，膝伸展筋力

Abstract: In this study, we examined the associations among the intra-/inter-examiner reproducibility of anterior central femoral muscle thickness (muscle thickness), femoral circumference, and anterior femoral muscle hardness (muscle hardness) measurement and knee extension muscle strength. The subjects were 20 healthy adults (mean age; male 20.1±0.3 years, female 20.2±0.4 years, total: 40 bilateral lower limbs). The muscle thickness, femoral circumference, and muscle hardness were measured twice, respectively, and the interclass correlation coefficient was calculated to investigate the intra-/inter-examiner reproducibility. Furthermore, the correlation between the knee extension muscle strength and each item was examined by calculating Pearson's correlation coefficient. The interclass correlation coefficients of the reproducibility of the muscle thickness, fat thickness, and femoral circumference were ≥0.9 regardless of sex, but the inter-examiner correlation coefficients of the muscle hardness in males and females were 0.763 and 0.787, respectively. Only the femoral circumference in males was correlated with the muscle strength ($r=0.54$, $p<0.05$). These results suggest that the reproducibility of data should be considered for muscle hardness measurement, and that the influence of fat thickness on the femoral circumference in females must be considered, although the femoral circumference in males reflects the knee extension muscle strength.

Key words: muscle thickness, femoral circumference, muscle hardness, reproducibility, knee extension muscle strength.

受付日：2018年5月1日，採択日：2018年6月12日

¹⁾ 京都橘大学健康科学部理学療法学科：〒607-8175 京都府京都市山科区大宅山田町34 TEL：075-571-1111

Email: murata-s@tachibana-u.ac.jp

Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Kyoto Tachibana University

34 Oyakemada-cho, Yamashina-ku, Kyoto, 607-8175, Japan

I. はじめに

下肢の重要な機能は、身体を支える支持機能と身体を移動させる移動機能である^{1,2)}。下肢機能は、筋力を中心に分析され、なかでも大腿四頭筋が下肢機能を最も反映する筋であるとされ¹⁾、高齢者の歩行能力^{3,4)}、動的バランス能力、生活機能の維持・向上⁵⁾との関連が報告されている。したがって、大腿四頭筋を客観的かつ多面的に評価することは重要である。

先行研究では、筋力と関連する因子として筋厚、四肢周径、筋硬度などが報告されている⁶⁻⁸⁾。とくに大腿中央前面筋厚は、大腿四頭筋筋力と強い正の相関が認められたことが報告されている⁶⁾。また、四肢周径測定は筋萎縮の有無・程度、筋線維の発達状態を反映するものとされ⁷⁾、筋力との相関も認められている⁶⁾。さらに、筋力が高い者は筋硬度も高いと報告されており⁸⁾、筋硬度も筋力と関係している可能性がある。

しかし、これらの測定値の再現性については問題が指摘されている。超音波画像装置は、プローブを操作する者の技術により測定値が変化すること⁹⁾、四肢周径はランドマークの誤認により同一検者内の測定値にも差が生じてしまうこと¹⁰⁾などが指摘されている。筋硬度もまた、検者間の再現性に一貫性がないとされている^{11,12)}。

骨格筋を正確に評価するには、検者内および検者間で測定値の再現性が不可欠である。さらに、筋厚、周径、筋硬度測定 of 再現性を検者内と検者間の両方で検討したうえで、これら3つの因子と筋力との関連を報告している研究は見当たらない。そこで本研究では、検者内と検者間 of 大腿中央前面筋（大腿直筋+中間広筋）の筋厚（以下、筋厚）、大腿周径、大腿前面筋硬度（以下、筋硬度）測定 of 再現性を級内相関係数で検討し、最大膝伸展筋力との相関について検討した。また、大腿の脂肪量は大腿周径との相関が認められており¹³⁾、脂肪量は脂肪厚に反映される¹⁴⁾ことから、大腿中央前面脂肪厚（以下、脂肪厚）も大腿周径に影響を及ぼすと考えられる。そのため、同様に再現性および最大膝伸展筋力との相関について検討した。

II. 対象と方法

1. 対象

健康成人20名（男性10名、女性10名）の両下肢40脚を対象とした。対象者の平均年齢は男性 20.1 ± 0.3 歳、女性 20.2 ± 0.4 歳、平均身長は男性 174.5 ± 4.4 cm、女性 157.5 ± 5.0 cm、平均体重は男性 65.3 ± 6.7 kg、女性

49.5 ± 3.3 kgであった。対象者には研究の趣旨と内容、得られたデータは研究の目的以外には使用しないこと、および個人情報の漏洩に注意することについて説明し、理解を得たうえで協力を求めた。また、研究への参加は自由意思であることを口頭で説明し、同意を得た上で研究を開始した。

2. 方法

筋厚、脂肪厚、大腿周径、筋硬度と最大膝伸展筋力（以下、膝伸展筋力）を測定した。筋厚、脂肪厚、大腿周径、筋硬度の測定は大学の理学療法学科に所属する3年生の検者2名が、1検者につき連続して2回ずつ行った。本研究の測定は2017年6月の午前11時から午後2時の間に行った。

対象者には治療用ベッド中央に背臥位で膝関節伸展位にて筋収縮が生じないように安静にするように指示し、筋厚、脂肪厚、大腿周径、筋硬度は、上前腸骨棘と膝蓋骨上縁中央を結んだ中点をマーキングし測定した⁹⁾。筋厚、脂肪厚の測定にはプローブの押圧を測定可能なパーソナル・デジタル超音波画像装置（ビューズ・アイ、酒井医療株式会社製）を使用した。測定モードはBモード、プローブは6MHzのリニアプローブを用いた。プローブの押圧は 100 ± 5 gfとした。画像の解析は、超音波画像装置に付属のソフトを用いて行った。大腿周径は、市販のメジャーを使用し、ミリ単位まで測定した。筋硬度測定には、筋硬度計（NEWTONE TDM-Z1(RB), TRY-ALL 社製）を使用し、練習を行った後、測定を開始した。

膝伸展筋力の測定には、ハンドヘルドダイナモメータ（ μ Tas F-1, アニマ社製）を使用した。被検者には、端座位にて膝関節90°屈曲位で、体幹を垂直位に保つように指示し、膝伸展筋力を測定した。ハンドヘルドダイナモメータのセンサーパッドは下腿遠位部前面に設置し、後方の検査台支柱にベルトで固定した。測定中はセンサーパッドのずれを防止するため、検者が前方で軽く支持した。また、膝窩部の圧迫による疼痛を回避するために、同部位にバスタオルを敷いた¹⁵⁾。なお、この方法による膝伸展筋力測定は再現性が高いことが確認されている¹⁵⁾。

統計処理として、筋厚、脂肪厚、大腿周径、筋硬度の測定値を級内相関係数（Intraclass correlation coefficient; ICC）を求め、同一検者内、複数検者間での再現性を検討した。

ICCによるreliability値の評価基準は、先行研究に

準じて0.6未満で「要再考」，0.6以上で「可能」，0.7以上で「普通」，0.8以上で「良好」，0.9以上で「優秀」，完全な一致では1とした¹⁶⁾。また，筋厚，脂肪厚，大腿周径，筋硬度測定値の平均と膝伸展筋力の測定値を，Pearsonの積率相関係数を求めて検討した。相関係数の評価は，先行研究に準じて $0 \leq |r| \leq 0.2$ で「ほとんど相関なし」， $0.2 < |r| \leq 0.4$ で「弱い相関あり」， $0.4 < |r| \leq 0.7$ で「比較的強い相関あり」， $0.7 < |r| \leq 1.0$ で「強い相関あり」とした¹⁷⁾。解析はSPSS Statistics Version 22.0を用い，有意水準は5%とした。

III. 結 果

筋厚および脂肪厚，大腿周径，筋硬度測定 of 検者内再現性を表1，検者間再現性を表2に示す。筋厚，脂肪厚，大腿周径は男女ともに検者内で $ICC(1, 1) = 0.98$ 以上，検者間で $ICC(2, 1) = 0.93$ 以上，筋硬度は男女ともに検者Aでは $ICC(1, 1) = 0.955 \sim 0.979$ ，検者Bでは $ICC(1, 1) = 0.796 \sim 0.885$ ，検者間で $ICC(2, 1) = 0.76 \sim 0.79$ であった。

筋厚および脂肪厚，大腿周径，筋硬度測定と膝伸展筋力の相関について表3に示す。膝伸展筋力と有意な

表1 測定値 of 検者内再現性

			1 回目	2 回目	ICC (1, 1)	95%CI
男性						
筋厚(mm)	検者 A	34.7±4.4	34.4±4.2	0.979	0.948 - 0.992	
	検者 B	35.1±4.5	34.6±4.8	0.982	0.953 - 0.993	
脂肪厚(mm)	検者 A	6.5±2.7	6.5±2.6	0.989	0.973 - 0.996	
	検者 B	6.5±2.7	6.4±2.7	0.989	0.974 - 0.996	
大腿周径(cm)	検者 A	54.1±4.2	54.1±4.2	1.000	1.000 - 1.000	
	検者 B	54.1±4.1	54.1±4.1	1.000	0.999 - 1.000	
筋硬度	検者 A	21.2±3.4	20.7±3.1	0.955	0.887 - 0.982	
	検者 B	20.7±3.2	19.8±2.6	0.796	0.498 - 0.919	
女性						
筋厚(mm)	検者 A	30.3±4.6	30.4±4.0	0.988	0.971 - 0.995	
	検者 B	30.2±4.4	29.9±4.6	0.990	0.975 - 0.996	
脂肪厚(mm)	検者 A	9.8±2.1	10.0±2.1	0.984	0.958 - 0.994	
	検者 B	9.9±2.1	10.1±2.1	0.979	0.949 - 0.992	
大腿周径(cm)	検者 A	51.2±3.0	51.2±3.0	1.000	0.999 - 1.000	
	検者 B	51.2±3.0	51.1±3.1	0.999	0.998 - 1.000	
筋硬度	検者 A	19.6±4.0	19.5±3.7	0.979	0.948 - 0.992	
	検者 B	17.5±3.7	16.9±3.2	0.885	0.714 - 0.954	

平均±標準偏差

表2 測定値 of 検者間再現性

		検者A	検者B	ICC(2, 1)	95%CI
男性					
筋厚(mm)		34.5±4.2	34.8±4.6	0.934	0.836 - 0.974
脂肪厚(mm)		6.5±2.6	6.5±2.7	0.993	0.982 - 0.997
大腿周径(cm)		54.1±4.1	54.1±4.0	0.997	0.992 - 0.999
筋硬度		20.9±3.2	20.2±2.9	0.763	0.416 - 0.905
女性					
筋厚(mm)		30.3±4.2	30.1±4.5	0.967	0.917 - 0.987
脂肪厚(mm)		9.9±2.1	10.0±2.1	0.976	0.941 - 0.991
大腿周径(cm)		51.2±3.0	51.1±3.0	0.995	0.987 - 0.998
筋硬度		19.6±3.8	17.2±3.5	0.787	0.058 - 0.933

平均±標準偏差

表3 測定項目間の相関係数

	筋厚	脂肪厚	大腿周径	筋硬度
男性				
脂肪厚	0.246			
大腿周径	0.445*	0.663*		
筋硬度	-0.357	-0.149	0.038	
膝伸展筋力	0.156	0.112	0.536*	-0.253
女性				
脂肪厚	0.601**			
大腿周径	0.541*	0.881**		
筋硬度	0.050	0.284	0.410	
膝伸展筋力	-0.048	0.175	0.325	0.334

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

相関が認められたのは、男性の大腿周径 ($r=0.54$, $p < 0.05$) のみであった。その他、男性では大腿周径と筋厚 ($r=0.445$, $p < 0.05$)、脂肪厚 ($r=0.663$, $p < 0.05$)、女性では大腿周径と筋厚 ($r=0.541$, $p < 0.05$)、脂肪厚 ($r=0.881$, $p < 0.01$)、筋厚と脂肪厚 ($r=0.601$, $p < 0.01$) に有意な相関が認められた。また、男女ともに筋硬度と各項目との間に有意な相関は認められなかった。

IV. 考 察

本研究は、検者内と検者間の筋厚および脂肪厚、大腿周径、筋硬度測定の再現性を検討し、最大膝伸展筋力との相関について検討した。その結果、筋厚、脂肪厚、大腿周径の測定値には極めて高い再現性が認められたが、筋硬度はこれらの項目と比較すると再現性が劣っていた。また、男性では膝伸展筋力と大腿周径に有意な相関が認められたが、膝伸展筋力と筋厚、筋硬度には有意な相関は認められなかった。女性では膝伸展筋力と有意な相関が認められた項目はなかった。

筋厚および脂肪厚の測定値の再現性については、男女ともに検者内および検者間で「優秀」であり、筋厚測定値の妥当性は十分とする先行研究¹⁸⁾を支持するものであった。一方、筋厚の測定値はプローブの圧迫の程度により変動すると報告されている⁹⁾。本研究で使用した超音波画像装置は押圧を定量化でき、圧を一定に保つことができるため、極めて高い再現性が得られたと考えられる。大腿周径の測定値の再現性については、男女ともに検者内および検者間で「優秀」であった。先行研究では、膝関節裂隙1点をランドマークとし、大腿周径を測定した結果、検者間再現性が低かったと報告している¹⁰⁾。本研究では上前腸骨棘と膝蓋骨

上縁の2点をランドマークとし大腿周径を測定したため、高い再現性が得られたものと推察した。

筋硬度の測定値の再現性については、男女とも検者内で「普通」から「優秀」、検者間で「普通」であり、他の項目と比較すると測定値の再現性が劣っていた。斎藤は、筋硬度測定において測定者の習熟度による誤差や評価者間誤差は避けられないとしている¹²⁾。肥田らは、測定者が繰り返し練習を行っても測定者間で押圧量を一定にするのは困難と報告している¹¹⁾。したがって、筋硬度測定は高い習熟度を要するため他の項目よりも測定値の再現性が劣っていた可能性がある。

膝伸展筋力との相関分析の結果、男性の大腿周径との間のみ有意な相関が認められた。これまでも膝伸展筋力と大腿周径の間には相関が認められており^{6,13,19)}、これらの先行研究と矛盾しない。一方で、女性では膝伸展筋力と大腿周径の間に相関はみられなかった。女性では皮下脂肪厚が男性に比べ高く、特に大腿部で著しいとされている¹⁴⁾。四肢周径の測定値には皮下脂肪などの筋以外の要素も含まれており¹⁰⁾、大腿周径は脂肪厚の影響を受けると指摘されている²⁰⁾。本研究では男女ともに大腿周径と脂肪厚に有意な相関がみられたが、特に女性は強い相関が認められた。したがって、大腿周径は脂肪厚が強く影響し、女性では膝伸展筋力と大腿周径に相関がみられなかった可能性がある。

男女ともに膝伸展筋力と筋厚には有意な相関はみられず、筋厚は膝伸展筋力と有意に相関したとする先行研究^{6,8)}とは異なった。骨格筋の発揮張力は筋のサイズのみだけでなく骨格筋内の脂肪や結合組織といった筋の質も筋力に影響するとされている²¹⁾。本研究では筋内の脂肪や結合組織などの筋の質に関する評価を実施

していないが，筋厚ではなく筋の質が筋力に影響していた可能性がある。また，膝伸展筋力と筋硬度に有意な相関は認められず，筋力が高い者は筋硬度も高いと報告している先行研究⁸⁾とは異なる結果となった。村木らの先行研究⁸⁾では，超音波弾性計測装置を用い押圧による筋厚の変位量から筋硬度を算出している。先行研究と異なり本研究で膝伸展筋力と有意な相関が認められなかった理由は測定方法の違いによるものかもしれない。

本研究では，超音波画像装置による筋厚および脂肪厚，大腿周径において検者内・検者間ともに高い再現性が認められた。ただし，膝伸展筋力との相関分析では，男性の大腿周径に有意な相関が認められたのみで，それ以外の項目とは有意な相関は認められなかった。このことより，臨床的に膝伸展筋力を反映するものとして，男性では大腿周径が有用であること，女性では大腿周径を評価，解釈する際には脂肪厚について考慮する必要性が示唆された。

ただし，本研究は健康成人を対象としたものであり，高齢者で本研究の結果が当てはまるか否か明らかでない。また，本研究は筋厚，すなわち筋サイズの測定のみ留まっており，筋の質が膝伸展筋力に関連している可能性が考えられる。今後，高齢者での検証や筋の質を含めた検討が必要である。

引用文献

- 1) 甲斐義浩，村田 伸，古後晴基・他：筋音図を用いた大腿四頭筋の筋機能評価－筋電図と筋音図の比較－，ヘルスプロモーション理学療法研究，2012，1(1)：61-65.
- 2) 村田 潤，村田 伸，甲斐義浩：下肢荷重力測定における荷重量と下肢筋活動の関係，理学療法科学，2007，22(2)：195-198.
- 3) 山崎裕司，横山仁志，青木詩子・他：高齢者の膝伸展筋力と歩行速度，独歩との関連，総合リハビリテーション，1998，26(7)：689-692.
- 4) 山崎裕司，横山仁志，青木詩子・他：膝伸展筋力と歩行自立度の関連－運動器疾患のない高齢者を対象として，総合リハビリテーション，2002，30(1)：61-65.
- 5) 河合 恒，大淵修一，小島基永・他：超音波測定による大腿前面の筋の硬さと膝伸展筋力の関係，理学療法科学，2010，25(6)：969-975.
- 6) 甲斐義浩，藤野英己，村田 伸・他：下肢周径の測定値と下肢筋力および筋組織厚の関連，理学療法科学，2008，23(6)：785-788.
- 7) 細田多穂，柳澤 健：理学療法ハンドブック 改訂第4版 第1巻 理学療法の基礎と評価，協同医書出版，東京，2015，950.
- 8) 村木里志，福田 修，福本清剛：筋の厚さ(量)と硬さ(質)から筋力を推定する方法の開発，健康医科学研究助成論文集，2009，24：126-133.
- 9) 福元喜啓，池添冬芽，山田陽介・他：超音波画像診断装置を用いた骨格筋の量的・質的評価，理学療法学，2015，42(1)：65-71.
- 10) 渕上信夫，今井公一，坂田芳明・他：周径の信頼性－筋力と周径の関係－，理学療法学，1990，17(3)：242-246.
- 11) 肥田朋子，天野幸代：筋硬度計による生体の硬さ測定－再現性と妥当性と有用性－，名古屋学院大学論集 人文・自然科学篇，2010，46：55-61.
- 12) 齊藤秀之：痛みに関連する生体情報の測定法，理学療法，2006，23(1)：99-104.
- 13) 甲斐義浩，藤野英己，村田 伸・他：身体組成と上・下肢筋力および四肢周径に関する研究，理学療法科学，2008，23(2)：241-244.
- 14) 古泉一久：筋厚，皮下脂肪厚の分布と身体組成との関係，城西大学研究年報 自然科学編，1998，22：125-133.
- 15) 加藤宗規，山崎裕司，柊 幸伸・他：ハンドヘルドダイナモメーターによる等尺性膝伸展筋力の測定－固定用ベルトの使用が検者間再現性に与える影響，総合リハビリテーション，2001，29(11)：1047-1050.
- 16) 今井 樹，潮見泰藏：理学療法研究における“評価の信頼性”の検査法，理学療法科学，2004，19(3)：261-265.
- 17) 國土将平：相関と回帰，学校保健研究，2017，58(6)：373-377.
- 18) 宮本賢作，田中 聡，田中 愛・他：超音波皮厚計を用いた下肢筋厚測定値の妥当性と筋力・筋量との関連について，形態・機能，2007，6(1)：27-32.
- 19) 江崎千恵，村田 伸，宮崎純弥・他：地域在住高齢者の大腿周径および大腿四頭筋筋厚と大腿四頭筋筋力との関連，理学療法科学，2010，25(5)：673-676.
- 20) 岡 英世，市橋則明，吉田正樹・他：MRIによる大腿部における筋の断面積特性－断面積と周径との関連性－，理学療法診療，1995，6：125-129.
- 21) 市橋則明，池添冬芽，福元喜啓・他：骨格筋研究－臨床におけるこれからのチャレンジ－，理学療法学，2010，37(8)：552-556.